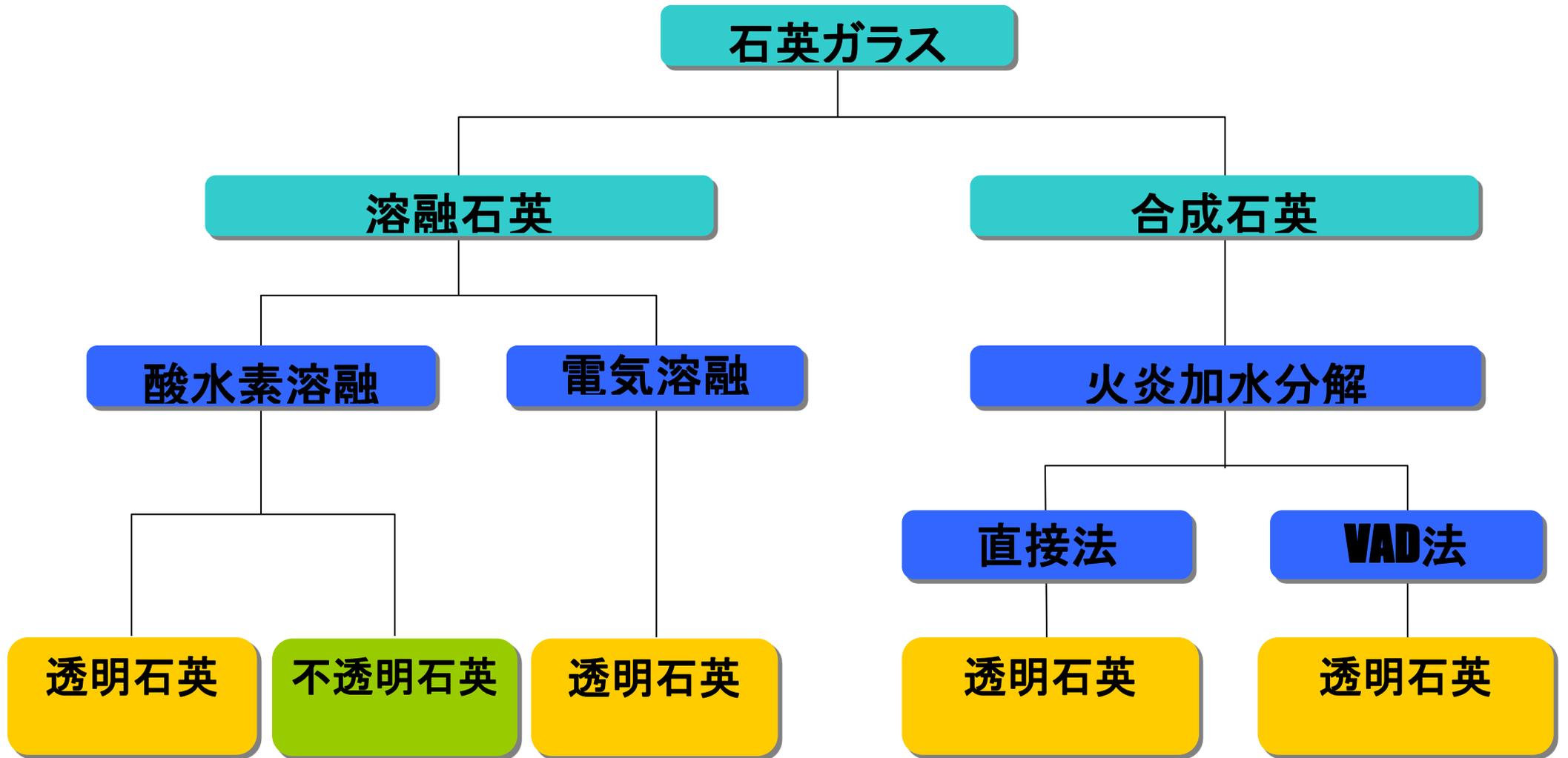


# 石英ガラスの種類



## 溶融石英ガラスの機械的、熱的、電氣的性質

			溶融石英							
			N	NP	S	HR	HRP	OP-1	OP-3	OP-3HD
	純度	%	≥99.9	≥99.9	≥99.99	≥99.9	≥99.9	≥99.9	≥99.9	≥99.9
	OH	ppm	200	200	200	10	10	160	160	160
	密度	g cm <sup>-3</sup>	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.02	2.02	2.1
機械的性質	ビッカース硬度	MPa	8,900	8,900	8,900	8,900	8,900	8,900	8,900	8,900
	ヤング率	GPa	74	74	74	74	74			
	剛性率	GPa	31	31	31	31	31			
	ポアソン比		0.17	0.17	0.17	0.17	0.17			
	曲げ強度	MPa	94.3	94.3	94.3	94.3	94.3	60	60	67
	圧縮強度	MPa	1128	1128	1128	1128	1128			
	引っ張り強度	MPa	49	49	49	49	49			
	ねじり強度	MPa	29	29	29	29	29			
熱的性質	歪点	°C	1,070	1,070	1,060	1,120	1,120	1,050	1,050	1,050
	除冷点	°C	1,180	1,180	1,165	1,220	1,220	1,170	1,170	1,170
	軟化点	°C	1,720	1,720	1,720	1,720	1,720	1,720	1,720	1,720
	平均線熱膨張率	× 10 <sup>-7</sup> °C <sup>-1</sup>	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	6.9	6.9	6.9
	比熱	20°C J kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>	749	749	749	749	749	749	749	749
		500°C J kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>	1,122	1,122	1,122	1,122	1,122	1,122	1,122	1,122
		700°C J kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>	1,201	1,201	1,201	1,201	1,201	1,188	1,201	1,201
		900°C J kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>	1,243	1,243	1,243	1,243	1,243	1,212	1,243	1,243
	熱拡散率	19°C × 10 <sup>-7</sup> m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.4	8.4	8.5
		500°C × 10 <sup>-7</sup> m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.5	7.5	7.6
		700°C × 10 <sup>-7</sup> m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	7.7	7.7	8.2
		1000°C × 10 <sup>-7</sup> m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.4	9.4	10.0
	熱伝導度	19°C W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.24	1.24	1.33
		500°C W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.65	1.65	1.77
		700°C W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01	1.80	1.80	2.07
		1000°C W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.23	2.23	2.75
		粘度 (logη、1200°C)	Pa s	11.72	11.72	12.10	12.18	12.18	11.72	11.72
電氣的性質	誘電率 ε'	500MHz	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.7	3.7	3.8
	誘電体損失(tanδ)	500MHz	<1 × 10 <sup>-3</sup>							
	体積抵抗(25°C)	Ω	3 × 10 <sup>15</sup>	3 × 10 <sup>15</sup>	4 × 10 <sup>15</sup>	8 × 10 <sup>15</sup>	8 × 10 <sup>15</sup>			
	体積抵抗率(25°C)	Ω · cm	5 × 10 <sup>16</sup>	5 × 10 <sup>16</sup>	7 × 10 <sup>16</sup>	1 × 10 <sup>17</sup>	1 × 10 <sup>17</sup>			

合成石英ガラスの機械的、熱的、電氣的性質

			合成石英			
			ES	ED-C	ED-H	
	純度	%	$\geq 99.99$	$\geq 99.99$	$\geq 99.99$	
	OH	ppm	600~1300	<1	<100	
	密度	$\text{g cm}^{-3}$	2.2	2.2	2.2	
機械的性質	ビッカース硬度	MPa	8,900	8,900	8,900	
	ヤング率	GPa	74	74	74	
	剛性率	GPa	31	31	31	
	ポアソン比		0.18	0.18	0.18	
	曲げ強度	MPa	94.3	94.3	94.3	
	圧縮強度	MPa	1,128	1,128	1,128	
	引っ張り強度	MPa	49	49	49	
	ねじり強度	MPa	29	29	29	
熱的性質	歪点	$^{\circ}\text{C}$	970	970	1,060	
	除冷点	$^{\circ}\text{C}$	1,080	1,080	1,170	
	軟化点	$^{\circ}\text{C}$	1,720	1,720	1,720	
	平均線熱膨張率	$\times 10^{-7} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$	4.7	4.7	4.7	
	比熱	20 $^{\circ}\text{C}$	$\text{J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$	749	749	749
		500 $^{\circ}\text{C}$	$\text{J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$	1,122	1,122	1,122
		700 $^{\circ}\text{C}$	$\text{J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$	1,201	1,201	1,201
		900 $^{\circ}\text{C}$	$\text{J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$	1,243	1,243	1,243
	熱拡散率	19 $^{\circ}\text{C}$	$\times 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$	8.5	8.5	8.5
		500 $^{\circ}\text{C}$	$\times 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$	7.8	7.8	7.8
		700 $^{\circ}\text{C}$	$\times 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$	8.2	8.2	8.2
		1000 $^{\circ}\text{C}$	$\times 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$	9.6	9.6	9.6
	熱伝導度	19 $^{\circ}\text{C}$	$\text{W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$	1.38	1.38	1.38
		500 $^{\circ}\text{C}$	$\text{W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$	1.93	1.93	1.93
		700 $^{\circ}\text{C}$	$\text{W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$	2.17	2.17	2.17
		1200 $^{\circ}\text{C}$	$\text{W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$	2.55	2.55	2.55
粘度	( $\log \eta$ 、1200 $^{\circ}\text{C}$ )	Pa s	10.6	10.6	11.37	
電氣的性質	誘電率 $\epsilon$	500MHz	3.9	3.9	3.9	
	誘電体損失( $\tan \delta$ )	500MHz	$< 1 \times 10^{-3}$	$< 1 \times 10^{-3}$	$< 1 \times 10^{-3}$	
	体積抵抗(25 $^{\circ}\text{C}$ )	$\Omega$	$5 \times 10^{15}$	$5 \times 10^{15}$	$5 \times 10^{15}$	
	体積抵抗率(25 $^{\circ}\text{C}$ )	$\Omega \cdot \text{cm}$	$1 \times 10^{17}$	$1 \times 10^{17}$	$1 \times 10^{17}$	

## 純度

熔融石英ガラスは主に天然水晶を、また、合成石英ガラスは主に四塩化ケイ素を原料として製造されており、  
下記に示した通り、含有する不純物は、熔融石英ガラスでppm、合成石英ガラスでppbレベルでしかありません。

代表的分析値、単位：ppm

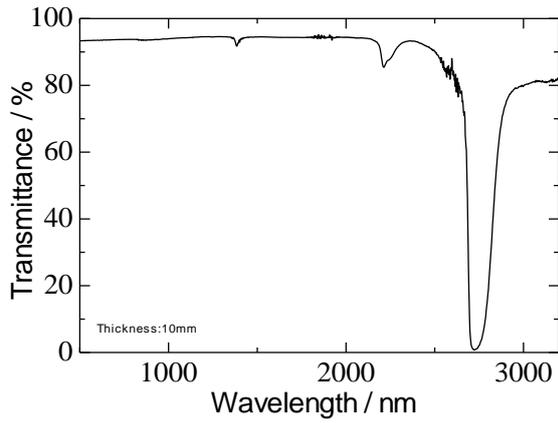
種別	グレード	Al	Ca	Cu	Fe	Na	K	Li	Mg	OH	
熔融	透明	N	8	0.6	<0.01	0.2	0.6	0.1	0.07	0.06	200
		NP	7	0.5	<0.01	0.1	0.1	0.04	0.07	0.02	200
		S	0.7	<0.01	<0.01	0.05	0.1	<0.01	<0.01	<0.01	160
	不透明	OP-1	8	0.7	<0.01	0.2	0.6	0.3	0.07	0.06	160
		OP-3	8	0.6	<0.01	0.2	0.08	0.1	0.07	0.04	160
合成	透明	ES <sup>*1</sup>	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	1000
		ED-C	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<1
		ED-H	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<100

\*1: ESL-1, ESL-2, ESL-1000, ESL-2000の純度はESと同じ。

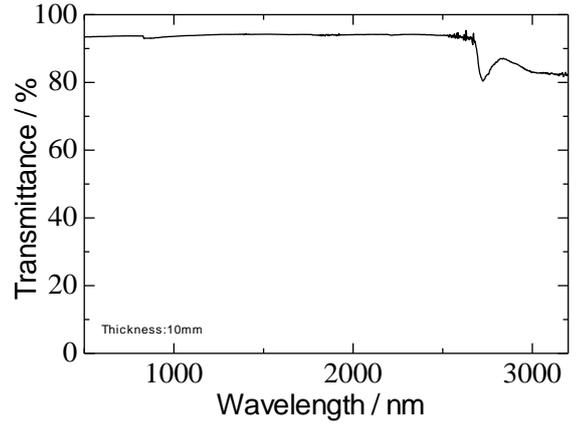
# 石英ガラスの光透過性

## 透過スペクトル (1)可視・赤外スペクトル

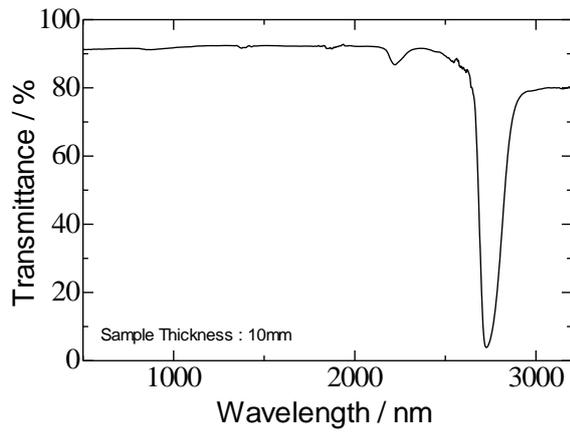
N



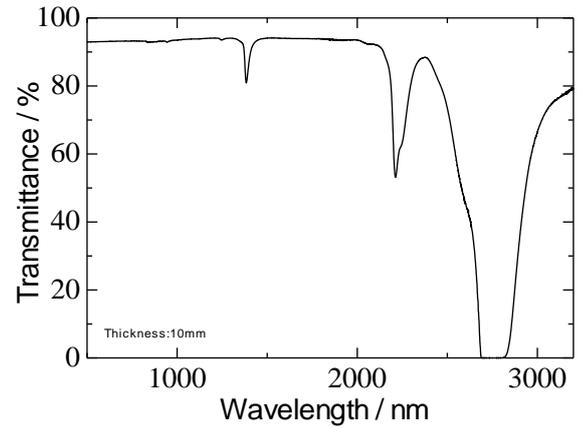
HR



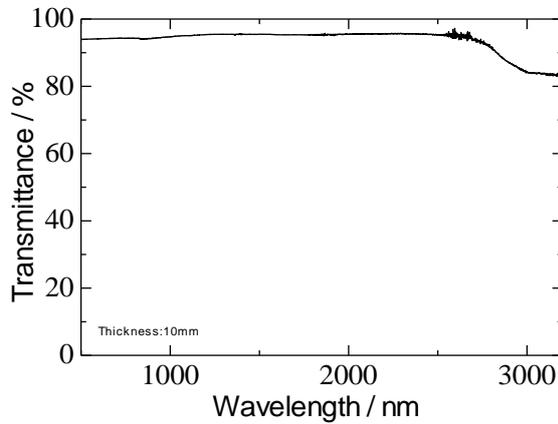
S



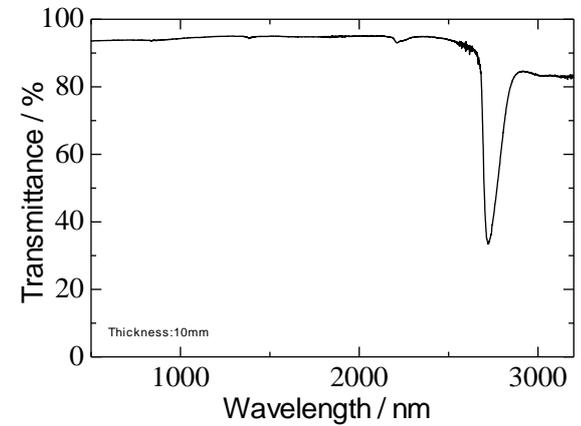
ES



ED-C

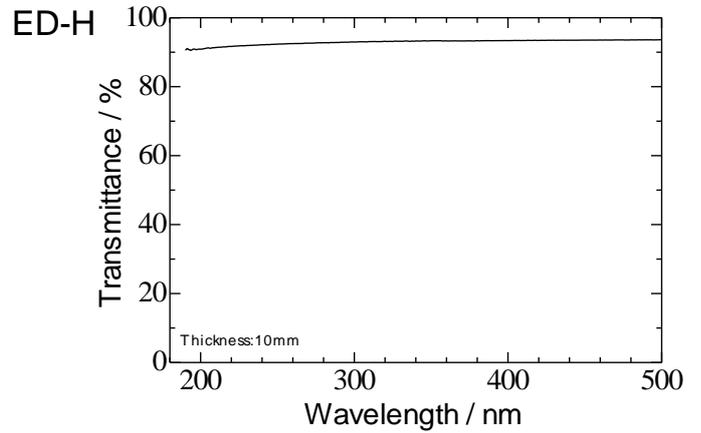
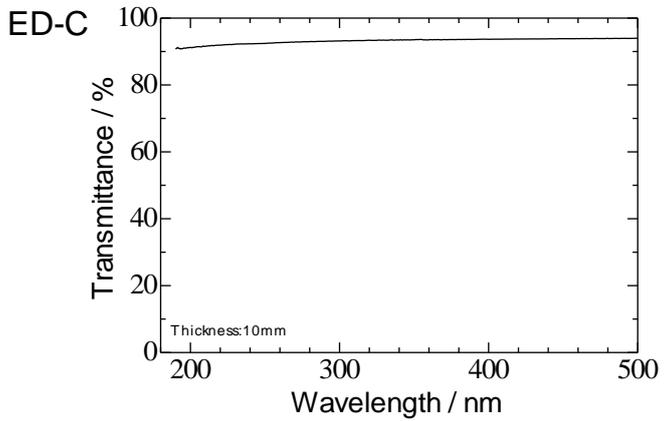
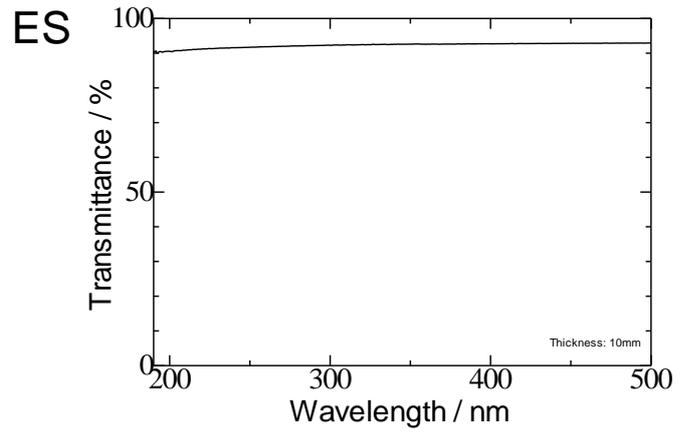
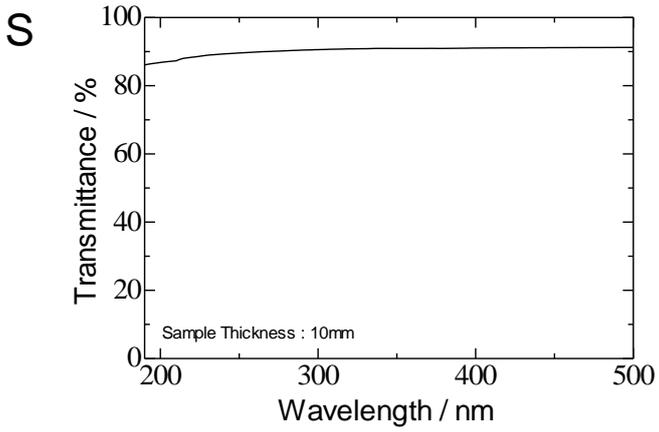
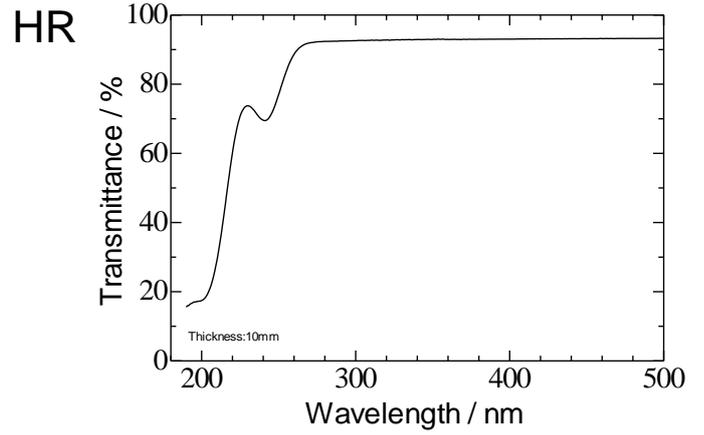
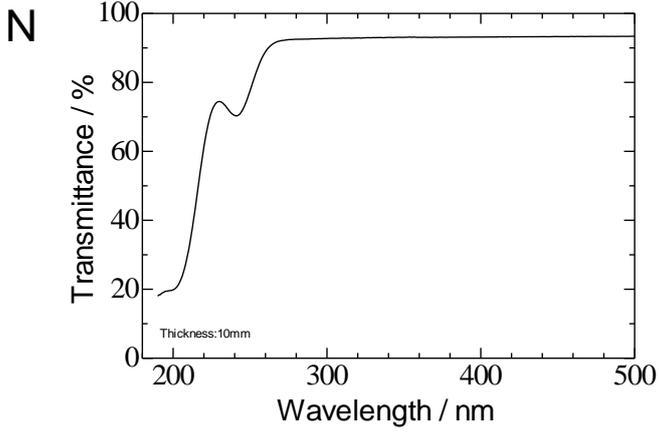


ED-H



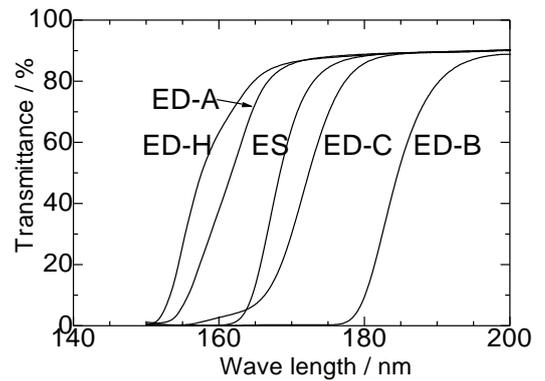
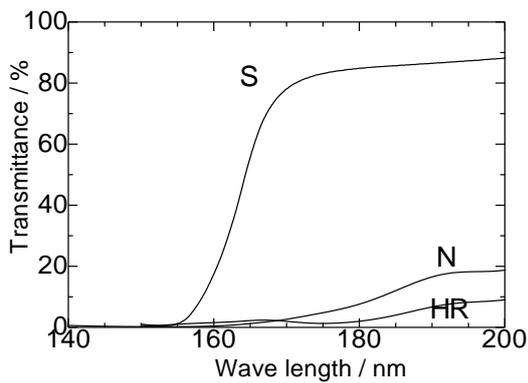
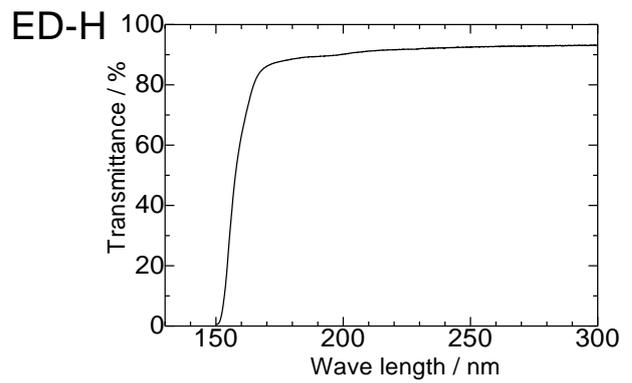
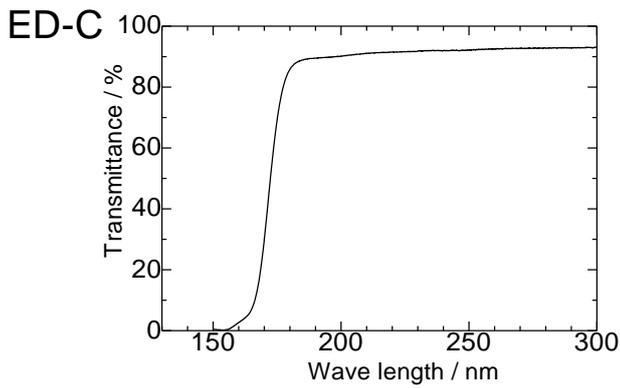
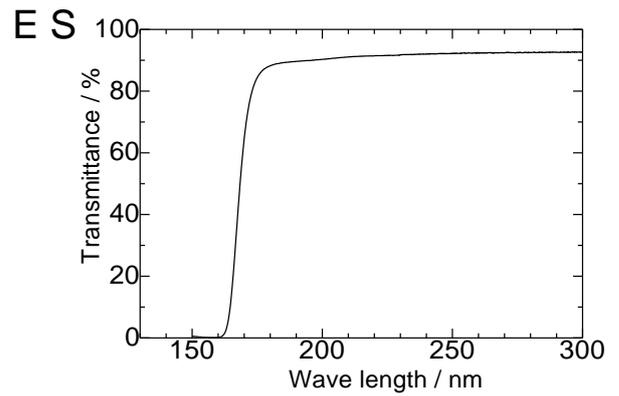
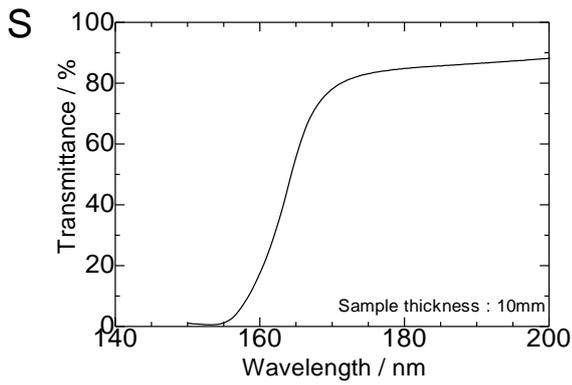
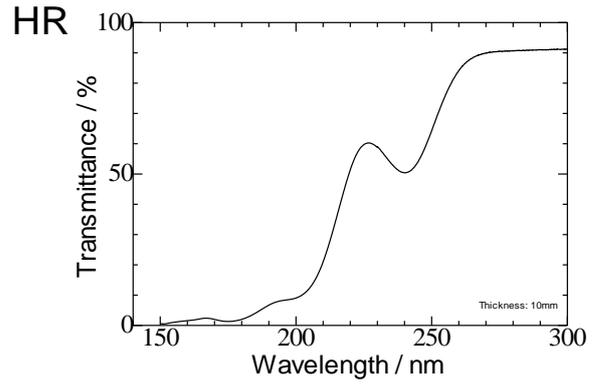
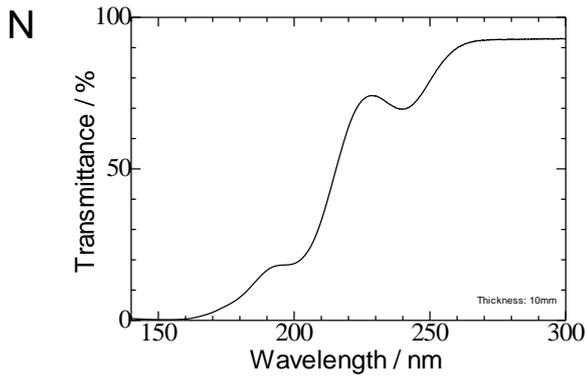
# 石英ガラスの光透過性

## 透過スペクトル (2)紫外・可視スペクトル



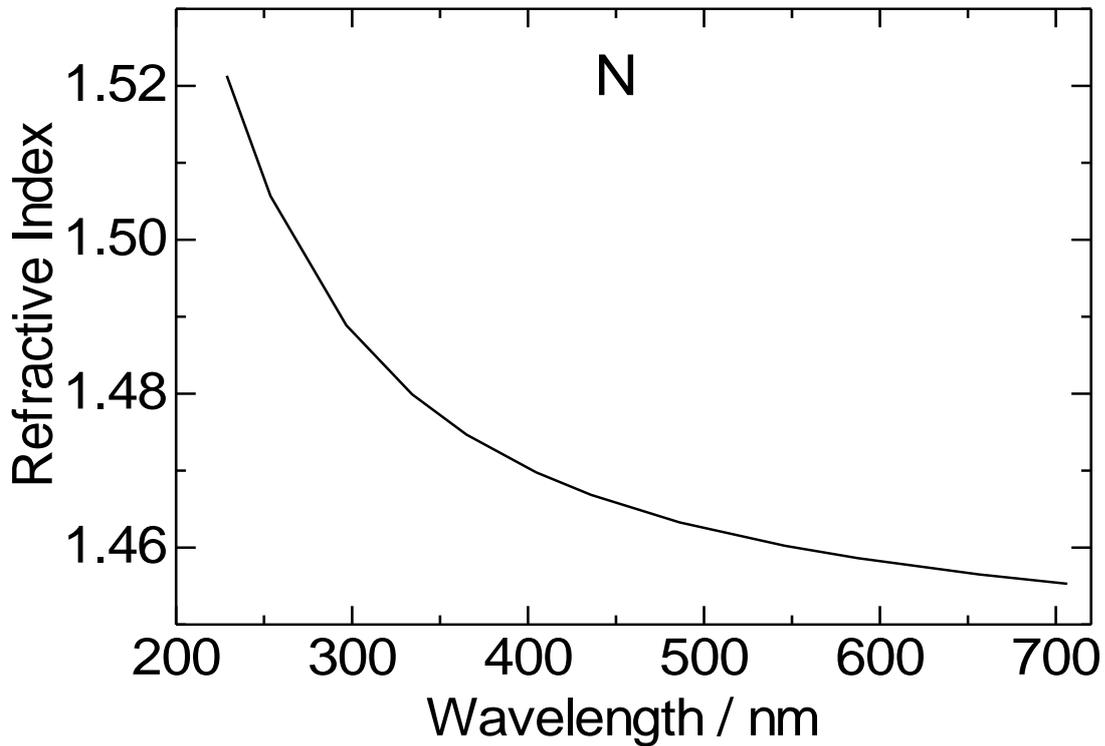
# 石英ガラスの光透過性

## 透過スペクトル (3)真空紫外スペクトル



## 熔融石英ガラスの屈折率

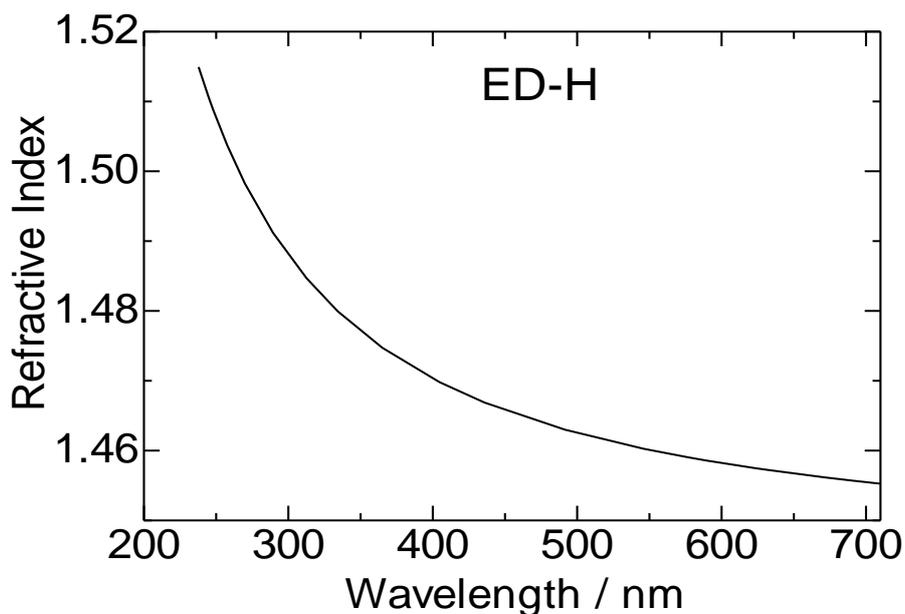
波長/nm	N
706.519	1.455295
656.273	1.456516
587.562	1.458612
546.075	1.460227
486.133	1.463273
435.835	1.466840
404.656	1.469766
365.015	1.474691
334.148	1.479917
296.728	1.488894
253.652	1.505683
228.802	1.521319



## 屈折率の波長依存性

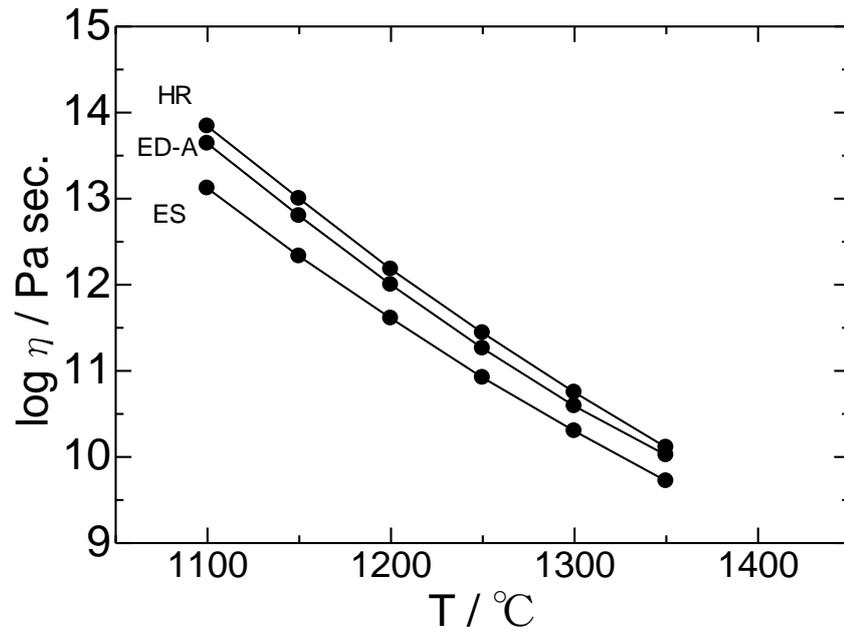
## 合成石英ガラスの屈折率

波長/nm		ES	ED-C	ED-H
237.8316		1.514791	1.515181	1.514931
244.6895		1.510516	1.510903	1.510655
246.4057		1.509516	1.509903	1.509656
248.0000	KrFレーザー	1.508609	1.508997	1.508751
257.6285		1.503583	1.503966	1.503723
269.8828		1.498096	1.498486	1.498247
289.3594		1.491039	1.491419	1.491169
312.5668		1.484538	1.484909	1.484684
334.1477		1.479812	1.480174	1.479958
365.0153	I線	1.474579	1.474936	1.474731
404.6563	h線	1.469657	1.469997	1.469806
435.8328	g線	1.466730	1.467071	1.466882
491.6068		1.462841	1.463176	1.462922
546.0735	e線	1.460117	1.460447	1.460268
576.9598		1.458885	1.459216	1.459037
589.2900	D線	1.458434	1.458774	1.458594
623.4402		1.458334	1.457667	1.457486
632.8165	He-Neレーザー	1.457055	1.457390	1.457209
671.6429		1.456005	1.456345	1.456162
690.7520		1.455539	1.455882	1.455699
708.2010		1.455135	1.455484	1.455301



## 屈折率の波長依存性

## 石英ガラスの高温粘性



## 粘度の温度依存性

## ES材の蛍光特性

合成石英ガラス(ESグレード)に低圧水銀ランプ(主波長254nm)の光を照射しても、目に見える蛍光は発しません。よりエネルギーの強いArFエキシマレーザーのような紫外線を照射すると、蛍光を発することがあります。以下に照射光、照射条件、吸収帯の生成、発光の例を示します。

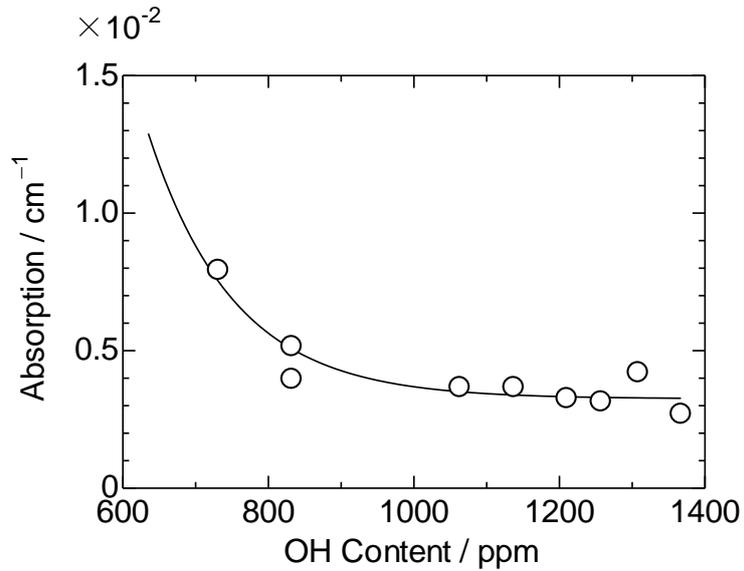
励起光	励起波長/nm	照射条件	照射数	吸収帯の生成	発光
低圧水銀ランプ	254	連続、 $2\text{mW}/\text{cm}^2$	10,000	なし	なし
KrFエキシマレーザー	248	25Hz、 $200\text{mJ}/\text{cm}^2$	10,000	なし	なし
ArFエキシマレーザー	193	125Hz、 $500\text{mJ}/\text{cm}^2$	10,000	なし	薄赤
ArFエキシマレーザー	193	100Hz、 $150\text{mJ}/\text{cm}^2$	10,000	なし	青
ArFエキシマレーザー	193	100Hz、 $400\text{mJ}/\text{cm}^2$	10,000	なし	青+薄赤

## ES 材のエキシマレーザー耐性

### ・KrF 照射誘起吸収

文献: Jpn. J. Appl. Phys., 36 (1997) 6785

「KrF-excimer-laser induced absorption in synthetic fused silica」

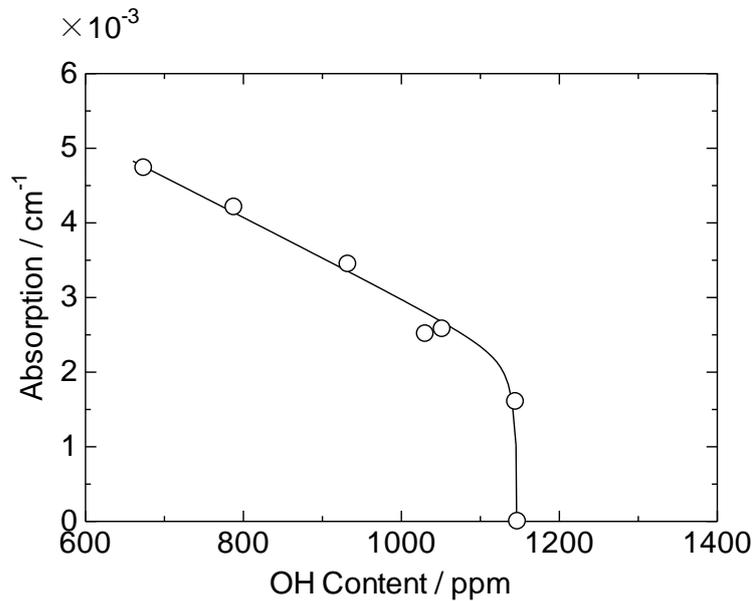


照射条件: 400 mJ/cm<sup>2</sup>, 100 Hz,  $1 \times 10^6$  shot

### ・ArF 照射誘起吸収

文献: レーザー研究, 23 (1995) 396

「合成石英ガラスの ArF エキシマレーザー誘起吸収強度の OH 含有量依存性」



照射条件: 100 mJ/cm<sup>2</sup>, 50 Hz,  $1.5 \times 10^3$  shot

石英ガラスの反応性(酸・アルカリ)

溶液		濃度 %	温度 °C	時間 h	減量 g m <sup>-2</sup>
アルカリ溶液	NH <sub>4</sub> OH	10	20	100	0.19
	NaOH	1	20	100	0.31
		10	20	100	0.095
		5	100	10	15
		8	100	10	12.1
	KOH	1	20	100	0.19
		30	100	10	0.27
		10	10	100	11.3
	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	5	20	100	0.015
		10	100	10	3.7
酸溶液	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	98	205	24	0.06
		98	20	240	0.016
	HNO <sub>3</sub>	65	115	24	0.11
		65	20	240	0.06
	HCl	37	66	24	0.14
		37	20	240	0.18

石英ガラスの反応性(金属・その他)

金属	Al, Mg	700-800°Cで速やかに反応
	Au, Ag, Pt	反応しない
	Zn, Sn, Pb	反応しない
	Si	熔融状態で僅かに反応
	Ge	900°Cで反応しない
	Mo, W	反応しない
	酸化物	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
CaO		900°C以上で反応
CuO		800°C以上で反応
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		900°C以上で反応
PbO		熔融時激しく反応
MgO		900°Cで僅かに反応
ZnO		420°C(Znの融点)以上で反応
ガス	CO, SO <sub>2</sub>	反応しない
	N <sub>2</sub> , O <sub>2</sub>	反応しない
	Cl <sub>2</sub>	反応しない
	F <sub>2</sub>	乾燥雰囲気300°C以下で反応しない
	H <sub>2</sub>	反応しない
	HCl	反応しない
塩	BaCl <sub>2</sub>	熔融時反応
	BaSO <sub>4</sub>	700°C以上で反応
	CaCl <sub>2</sub>	800°C(CaCl <sub>2</sub> の融点)で僅かに反応
	KCl	高温で失透促進
	KF	熔融時激しく反応
	NaCl	800°C以上で反応顕著
	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	反応しない

## 標準管サイズ表

略号	内径		WT	肉厚	
	ID	公差		公差	公差
#1	1.5	± 0.5	0.6	± 0.2	
#2	2.5	± 0.5	0.7	± 0.3	
#3	3.5	± 0.5	0.7	± 0.3	
#4	4.5	± 0.5	0.7	± 0.3	
#5	5.5	± 0.5	0.7	± 0.3	
#6	6.5	± 0.5	0.8	± 0.3	
#7	7.5	± 0.5	0.8	± 0.3	
#8	8.5	± 0.5	0.8	± 0.3	
#9	9.5	± 0.5	0.8	± 0.3	
#10	10.5	± 0.5	1.2	± 0.3	
#11	11.5	± 0.5	1.2	± 0.3	
#12	12.5	± 0.5	1.2	± 0.3	
#13	13.5	± 0.5	1.2	± 0.3	
#14	14.5	± 0.5	1.5	± 0.4	
#15	15.5	± 0.5	1.5	± 0.4	
#16	16.5	± 0.5	1.5	± 0.4	
#17	17.5	± 0.5	1.5	± 0.4	
#18	18.5	± 0.5	1.5	± 0.4	
#19	19.5	± 0.5	1.5	± 0.4	
#20	21.0	± 1.0	1.5	± 0.4	
#22	23.0	± 1.0	1.8	± 0.4	
#24	25.0	± 1.0	1.8	± 0.4	
#26	27.0	± 1.0	1.8	± 0.4	
#28	29.0	± 1.0	2.0	± 0.5	
#30	31.5	± 1.5	2.0	± 0.5	
#33	34.5	± 1.5	2.0	± 0.5	
#36	38.0	± 1.5	2.3	± 0.5	
#40	41.5	± 1.5	2.3	± 0.5	
#43	44.5	± 1.5	2.3	± 0.5	
#46	48.0	± 1.5	2.5	± 0.5	
#50	51.5	± 1.5	2.5	± 0.5	
#53	54.5	± 1.5	2.5	± 0.5	
#56	58.0	± 1.5	2.5	± 0.5	
#60	61.5	± 1.5	3.0	± 0.5	

略号	内径		WT	肉厚	
	ID	公差		公差	公差
#1A	1.5	± 0.5	1.0	± 0.2	
#2A	2.5	± 0.5	1.2	± 0.2	
#3A	3.5	± 0.5	1.2	± 0.2	
#4A	4.5	± 0.5	1.2	± 0.2	
#5A	5.5	± 0.5	1.2	± 0.2	
#6A	6.5	± 0.5	1.3	± 0.2	
#7A	7.5	± 0.5	1.3	± 0.2	
#8A	8.5	± 0.5	1.3	± 0.2	
#9A	9.5	± 0.5	1.3	± 0.2	
#10A	10.5	± 0.5	1.7	± 0.2	
#11A	11.5	± 0.5	1.7	± 0.2	
#12A	12.5	± 0.5	1.7	± 0.2	
#13A	13.5	± 0.5	1.7	± 0.2	
#14A	14.5	± 0.5	2.2	± 0.4	
#15A	15.5	± 0.5	2.2	± 0.4	
#16A	16.5	± 0.5	2.2	± 0.4	
#17A	17.5	± 0.5	2.2	± 0.4	
#18A	18.5	± 0.5	2.2	± 0.4	
#19A	19.5	± 0.5	2.2	± 0.4	
#20A	21.0	± 1.0	2.2	± 0.4	

略号	内径		WT	肉厚	
	ID	公差		公差	公差
#1B	1.5	± 0.5	1.5	± 0.3	
#2B	2.5	± 0.5	1.7	± 0.3	
#3B	3.5	± 0.5	1.7	± 0.3	
#4B	4.5	± 0.5	1.7	± 0.3	
#5B	5.5	± 0.5	1.7	± 0.3	
#6B	6.5	± 0.5	1.8	± 0.3	
#7B	7.5	± 0.5	1.8	± 0.3	
#8B	8.5	± 0.5	1.8	± 0.3	
#9B	9.5	± 0.5	1.8	± 0.3	
#10B	10.5	± 0.5	2.3	± 0.4	
#11B	11.5	± 0.5	2.3	± 0.4	
#12B	12.5	± 0.5	2.3	± 0.4	
#13B	13.5	± 0.5	2.3	± 0.4	
#14B	14.5	± 0.5	3.0	± 0.5	
#15B	15.5	± 0.5	3.0	± 0.5	
#16B	16.5	± 0.5	3.0	± 0.5	
#17B	17.5	± 0.5	3.0	± 0.5	
#18B	18.5	± 0.5	3.0	± 0.5	
#19B	19.5	± 0.5	3.0	± 0.5	
#20B	21	± 1.0	3.0	± 0.5	

備考  
 WT : Wall Thickness (片肉厚)  
 ID : Internal Diameter (内径)

## 標準棒サイズ表

略号	外径 mm	外径公差 mm
φ 1	1.5	±0.5
φ 2	2.5	±0.5
φ 3	3.5	±0.5
φ 4	4.5	±0.5
φ 5	5.5	±0.5
φ 6	6.5	±0.5
φ 7	7.5	±0.5
φ 8	8.5	±0.5
φ 9	9.5	±0.5
φ 10	10.5	±0.5
φ 11	11.5	±0.5
φ 12	12.5	±0.5
φ 13	13.5	±0.5
φ 14	14.5	±0.5
φ 15	15.5	±0.5
φ 16	16.5	±0.5
φ 17	17.5	±0.5
φ 18	18.5	±0.5
φ 19	19.5	±0.5
φ 20	21.0	±1.0

## 石英ガラス使用上の注意

### ■失透

透明石英ガラスは、高温にさらされるとガラス状態(非晶質)から安定なクリストバライト(結晶質)に転移します。この構造変化が失透であり、通常1,150°C以上で起こります。特に不純物が付着している条件下では、1,000°C以下でも失透が起こります。

各種雰囲気中での加熱温度、時間と失透の関係を以下に示します。

雰囲気	加熱温度 °C	加熱時間 h	失透の程度	失透層厚 μm
空気	1,300	72	表面は完全に失透	250
乾燥酸素	1,300	72	全表面の50~70%失透	100~150
工業用窒素	1,300	72	表面は失透	—
窒素(O <sub>2</sub> 、H <sub>2</sub> O除去)	1,300	72	失透の痕跡無し	—
水素(O <sub>2</sub> 、H <sub>2</sub> O除去)	1,300	72	失透の痕跡無し	—

### ■取り扱い上の注意

石英ガラス製品に直接手を触れたり、埃が付着したまま使用しますと、付着したナトリウムやカリウムなどのアルカリ金属やその他の不純物によって失透を促進し、寿命を短くすることになります。

御使用になる前に、その都度純水または蒸留水で洗浄するか、内外とも清潔な乾布、あるいは、アルコールを浸した布などで拭くようにして下さい。

汚染がひどい時や、使用表面に不純物が焼き付いたりして前記の方法で除去できない時は、5~10%のフッ酸溶液に数分浸し、その後フッ酸がなくなるまで、純水、または、蒸留水で十分洗い流して下さい。

界面活性剤などを使用した場合は、フッ酸洗浄後、十分に水洗いして下さい。

### ■使用上の注意

- ・ 石英ガラス製品は、常に清浄な状態でご使用下さい。
- ・ 透明石英ガラスは、不純物とともに水を嫌います。濡れたまま高温雰囲気に入れしないでください。高温でご使用の時は、十分に乾燥してからご使用下さい。
- ・ ご使用の雰囲気によっては失透が促進されますので、ご注意下さい。
- ・ 石英ガラスは急熱急冷に強く、通常ガラスの10倍の強度を有していますが、極端な温度変化には耐えられません。
- ・ 石英ガラスは、熱伝導率が低く、局所的な急熱、急冷によりクラックが入ることがあります。また、製品の肉厚が厚くなるにしたがって、耐熱衝撃性は低下します。
- ・ 石英ガラスの内外に他の物質が密着し温度を上げる(下げる)と、熱膨張差によって破損することがあります。他の物質が付着した状態で温度を上げる(下げる)時は、十分注意してください。
- ・ 高温で長時間ご使用になると、石英ガラスの自重または他の荷重で次第に変形することがあります。支持方法や使用状態に変化をつけるなどの工夫をしていただくと、寿命も長くなります。